

Mineralogía y geoquímica de las sienitas nefelínicas de Montaña Blanca-Esquinzo, NO de Fuerteventura (Islas Canarias)

C. de Ignacio^{1,2}, M. Muñoz², J. Sagredo³ y S. Fernández-Santín²

¹ Grupo Geología, Univ. Rey Juan Carlos, C/Tulipán s/n, 28933 Móstoles, Madrid. cignacio@escet.urjc.es

² Dpto. Petrología y Geoquímica, Fac. CC. Geológicas, Univ. Complutense de Madrid, C/ José Antonio Novais s/n, Ciudad Universitaria, 28040 Madrid. fuertm@geo.ucm.es, solfesan@geo.ucm.es

³ Instituto de Geología Económica, CSIC, Dpto. Petrología y Geoquímica, Fac. CC. Geológicas, Univ. Complutense de Madrid, C/ José Antonio Novais s/n, Ciudad Universitaria, 28040 Madrid. sagredo@geo.ucm.es

ABSTRACT

Nepheline-syenites from the northern, Montaña Blanca-Esquinzo sector of the Basal Complex in the island of Fuerteventura (Canary Islands) are the most differentiated rocks belonging to the alkaline-carbonatitic association in this area. These nepheline-syenites are peculiar when compared with their counterparts in other alkaline-carbonatitic bodies, due to their lack of hydrous minerals (amphiboles, micas) and their strong depletions in incompatible elements. In this work, we present both mineralogical and geochemical data on these rocks in order to obtain information about their origin and relationship with the ultramafic and mafic terms (clinopyroxenites and melteigites-ijolites) of the alkaline silicate rocks belonging to this association of the Basal Complex. These data suggest that the Montaña Blanca-Esquinzo nepheline-syenites are the products of extensive fractionation + accumulation of the same magma that gave rise to the clinopyroxenites and melteigites-ijolites.

Key words: nepheline-syenites, Basal Complex, Fuerteventura, fractionation, accumulation.

INTRODUCCIÓN

Dentro de las rocas silicatadas alcalinas que suelen estar asociadas a carbonatitas, las sienitas nefelínicas o sus equivalentes volcánicos (fonolitas) son de gran importancia, ya que, como términos más diferenciados, nos permiten estudiar cómo ha evolucionado la parte silicatada del sistema alcalino-carbonatítico, y el conocimiento de esa evolución es necesario para abordar sus relaciones con las carbonatitas, que pueden ser muy complejas y diversas. En este trabajo se estudian las relaciones de las sienitas nefelínicas del sector NO del Complejo Basal de Fuerteventura con las rocas ultramáficas y máficas (clinopiroxenitas, melteigitas, ijolitas) a ellas asociadas, a partir de los aspectos fundamentales de su mineralogía y geoquímica. Las sienitas nefelínicas de este sector fueron por primera vez descritas por Barrera *et al.* (1981), quienes hicieron especial hincapié en la descripción de sus texturas y señalan su carácter poco enriquecido, definiéndolas como tipos intermedios entre miaskitas y agpaitas. Estas sienitas nefelínicas forman parte de la facies subvolcánica del episodio alcalino-carbonatítico (EMI) del Complejo Basal, intrusivo en la serie submarina, que se define en Muñoz *et al.* (2003).

RELACIONES DE CAMPO

Las sienitas nefelínicas de Montaña Blanca-Esquinzo constituyen los materiales más diferenciados dentro del

conjunto de rocas silicatadas alcalinas asociadas a las carbonatitas en este sector de Fuerteventura. Afloran en pequeñas masas que suelen presentar contactos graduales con rocas ijolíticas, así como en diques de dirección N-S y venas centimétricas que cortan tanto a clinopiroxenitas como a melteigitas-ijolitas (Fig. 1). En ocasiones, las venas están zonadas, de modo que sus bordes están ocupados por sienita nefelínica y los centros por carbonatita. Las relaciones de campo y contemporaneidad de las sienitas nefelínicas con clinopiroxenitas e ijolitas (25 Ma; de Ignacio *et al.*, 2002a) indican que las primeras constituyen diferenciados tardíos de las segundas. Al igual que el resto de las rocas alcalinas silicatadas de este sector, las sienitas nefelínicas de Montaña Blanca-Esquinzo presentan cierta variación en el tamaño de grano, pudiendo ser desde rocas de grano fino hasta pegmatoides. Las de grano fino suelen aparecer asociadas lateralmente a ijolitas, mientras que los pegmatoides aparecen preferentemente en forma de venas y diques antes descritos (Fig. 1). En estos tipos pegmatoides destacan cristales centimétricos de piroxeno y, en ocasiones, cristales de 1-2 milímetros de zircón, de color rojizo o rosado.

MINERALOGÍA

Las sienitas nefelínicas de Montaña Blanca-Esquinzo son rocas de textura bastante equigranular subidiomorfa y poseen una mineralogía relativamente sencilla, formada



FIGURA 1. Vena centimétrica de sienita nefelínica cortando a clinopiroxenitas en Montaña Blanca.

fundamentalmente por clinopiroxeno, nefelina y feldespato potásico esenciales, y accesorios que incluyen: óxidos de Fe-Ti, apatito, esfena, plagioclasa, y ocasionalmente granate andradita rico en TiO_2 (melanito) y zircón. Estos minerales accesorios son de gran importancia, ya que van a controlar elementos de interés petrogenético como, por ejemplo, las tierras raras. Además, la práctica ausencia de minerales hidratados (anfíboles, micas, que suelen ser bastante habituales en este tipo de rocas), es otra característica peculiar de las sienitas nefelínicas de este sector, que indica, como veremos, que podrían ser productos finales del fraccionamiento de clinopiroxenitas e ijolitas.

Clinopiroxeno

El clinopiroxeno en estas rocas es subidiomorfo y suele presentarse en cristales de tendencia acicular, color verdoso intenso y pleocroismo verde-amarillento. Es el mineral de cristalización más temprana, de modo que se encuentra con frecuencia en finas inclusiones aciculares que marcan zonas de crecimiento tanto en nefelina como en feldespato potásico. Asimismo, en las sienitas de grano más fino, el clinopiroxeno aparece entre los grandes cristales de feldespato potásico y nefelina, adaptándose a los contornos de estos cristales, lo que da como resultado una textura de aspecto fluidal o foyaftica. El estudio de la composición del clinopiroxeno se realizó mediante microsonda electrónica JEOL JXA-8900M en el Centro de Microscopía Electrónica de la Universidad Complutense de Madrid, con las siguientes condiciones operativas: voltaje de 15 kV, intensidad de corriente de 20 nA, diámetro del haz de 5 micras y método de corrección ZAF. Este estudio es especialmente importante ya que, al ser un mineral que está presente en todas las rocas que componen esta asociación, la evolución de su composición desde los términos más primitivos hasta los más fraccionados puede dar idea de qué procesos de evolución han estado implicados en su génesis. El clinopiroxeno de las sienitas nefelínicas de Montaña Blanca-Esquinzo está

zonado, con centros de cristal de composición augita egirínica (Na_2O desde 7 hasta 11% en peso) que evolucionan a bordes de augita egirínica rica en hierro. En las muestras pegmatoides la composición es aún más restringida, desde augita egirínica rica en hierro en los centros hasta bordes de egirina prácticamente pura ($\text{Na}_2\text{O} = 12-13\%$ en peso) (Fig. 2). Estos clinopiroxenos presentan contenidos apreciables de MnO (0,3-0,4% en peso) y ZrO_2 (0,1-0,3% en peso), que pueden llegar a ser relativamente altos en las muestras pegmatoides (1% en peso de MnO y 0,5-0,6% en peso de ZrO_2). Las variaciones composicionales que se muestran en la figura 2 son las típicas de rocas alcalinas silicatadas evolucionadas, que habitualmente siguen la siguiente secuencia (ver términos equivalentes en Jones, 1984):

diópsido \rightarrow hedenbergita \rightarrow augita egirínica \rightarrow egirina

Es interesante destacar que en las clinopiroxenitas a las que cortan las sienitas nefelínicas, el clinopiroxeno es de tipo diópsido, y en las rocas ijolíticas, algo más diferenciadas, presenta centros de diópsido y bordes de augita egirínica.

Nefelina

La nefelina en estas rocas es de idiomorfa a subidiomorfa, y con frecuencia aparece alterada a cancrinita. No presenta zonado, aunque sí destacan en ella diferentes zonas de crecimiento marcadas por la presencia de microinclusiones de clinopiroxeno y ocasionalmente esfena. La abundancia de las primeras hace que los contenidos de FeO analizados en la nefelina sean excepcionalmente altos (cerca del 1% en peso). Asimismo, la nefelina presenta con-

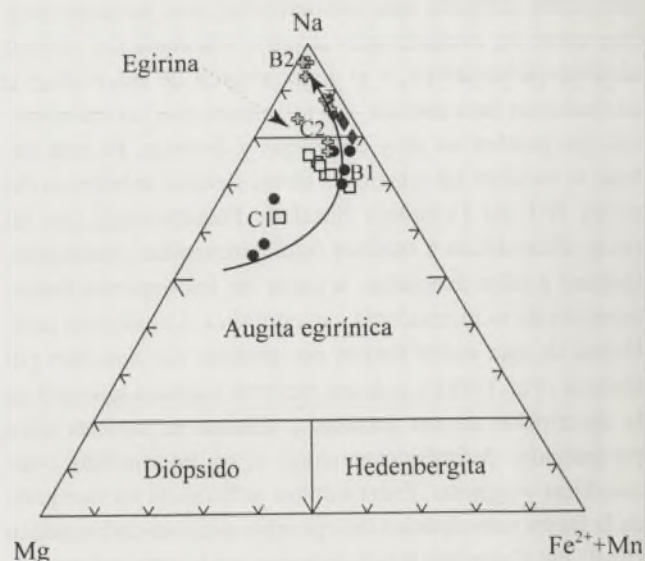


FIGURA 2. Variación de la composición del clinopiroxeno en las sienitas nefelínicas de Montaña Blanca-Esquinzo. Símbolos: círculos, cuadrados, rombos = sienitas de grano medio-grueso (C1-B1 = centros y bordes); cruces = sienita pegmatóide (C2-B2 = centros y bordes). La flecha indica la progresiva evolución hacia clinopiroxenos ricos en Fe y Na.

tenidos relativamente altos de K_2O (6-7% en peso) y pequeñas cantidades de SrO (0,2-0,3% en peso).

Feldespatos potásico

Este tercer mineral esencial en las sienitas nefelínicas aparece en cristales tabulares idiomorfos o subidiomorfos, que son especialmente abundantes en las muestras pegmatoides. El feldespato potásico presenta zonado normal, con núcleos de composición $Or_{75} Ab_{25}$ y bordes de pequeña anchura más ricos en K_2O , de composición $Or_{84} Ab_{16}$. Asociados a estos bordes de cristal, aparecen en ocasiones pequeños cristales intersticiales de plagioclasa, de composición albíta prácticamente pura. Los contenidos de BaO también aumentan de centro a borde de los cristales, desde alrededor de 0,5 hasta 1-2% en peso. En las muestras pegmatoides el feldespato potásico puede llegar a presentar bordes de celsiana (feldespato con $BaO > 5\%$ en peso). Al igual que en la nefelina, en el feldespato potásico aparecen también microinclusiones de clinopiroxeno, aunque en menor abundancia.

Minerales accesorios

Dentro de los minerales accesorios, es de destacar la presencia de óxidos de Fe-Ti formados por magnetita bastante pura con zonas de ilmenita muy rica en MnO (20-34% en peso de este elemento), y a veces con pequeñas cantidades de Nb_2O_5 (0,34-1,6% en peso). Estas composiciones de ilmenita rica en MnO son características de rocas alcalinas evolucionadas (Mitchell, 1978). Otro accesorio que presenta cantidades apreciables de Nb_2O_5 (0,3-1,5% en peso) en su composición es la esfena, que además contiene entre 0,4 y 1,7% en peso de ZrO_2 . Además, el principal mineral portador de tierras raras en estas rocas (hasta 4% en peso de tierras raras ligeras) es fluorapatito rico en SrO (3-4% en peso). Finalmente, como accesorios ocasionales, pueden aparecer en estas sienitas, granate melanito ($TiO_2 = 9-14\%$ en peso) y zircón, presente sobre todo en los tipos pegmatoides.

GEOQUÍMICA

La geoquímica de roca total fue realizada por los laboratorios del *Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques* (CRPG) de Vandoeuvre-lès-Nancy (Francia), mediante ICP-AES (elementos mayores) e ICP-MS (elementos traza).

Las sienitas nefelínicas de Montaña Blanca-Esquinzo son rocas intermedias por su contenido en SiO_2 y substuradas, como indican sus altos contenidos modales de nefelina.

Al igual que sucede con las clinopiroxenitas e ijolitas, la geoquímica de roca total de las sienitas nefelínicas está fuertemente controlada por la naturaleza y abundancia de los minerales que las componen. En la figura 3a se presen-

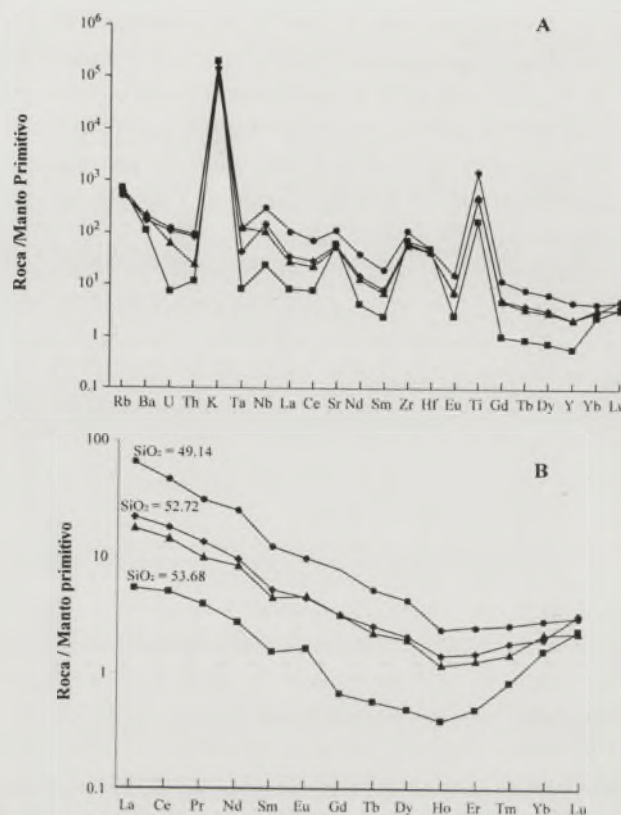


FIGURA 3. Diagramas spider (a) y de tierras raras (b) de las sienitas nefelínicas de Montaña Blanca-Esquinzo. Símbolos: círculos = sienita fina; rombos y triángulos = sienitas de grano medio-grueso; cuadrados = sienita pegmatóide.

tan los diagramas de tipo *spider* para estas rocas, que muestran fuertes enriquecimientos en: 1) K_2O y elementos litófilos de gran radio iónico (LILE) que lo sustituyen, como Ba y Rb, debido a la abundancia de feldespato potásico; 2) Zr, Hf y Ti, controlados sobre todo por el clinopiroxeno y la esfena y 3) Sr, controlado fundamentalmente por el apatito. En la figura 3b se presentan los espectros de tierras raras para estas sienitas nefelínicas. En ellos destacan dos aspectos: el primero, es la forma cóncava de los espectros, debida al empobrecimiento en tierras raras medias con respecto a tierras raras ligeras y pesadas, lo que deprime el diagrama en su parte central. Eby *et al.* (1998) obtienen pautas similares en espectros de tierras raras de sienitas nefelínicas de Ilomba, (Malawi), que explican por fraccionamiento de esfena, ya que este mineral retiene fuertemente las tierras raras medias. Además, la presencia de zircón y granate melanito como accesorios en estas rocas, provoca la elevación de la parte derecha del espectro, correspondiente a las tierras raras pesadas, que son retenidas por estos minerales. El segundo aspecto a destacar en los espectros de tierras raras es el progresivo empobrecimiento de los mismos, desde los tipos ligeramente menos evolucionados (sienita fina, círculos en la figura 3b) hasta los tipos pegmatoides (cuadrado en la figura 3b). Dado que el enriquecimiento progresivo en estos diagramas es indicativo de fracciona-

miento, la tendencia contraria se interpreta como debida a la naturaleza progresivamente más residual de las sienitas, es decir, por una parte, las sienitas se generarían a partir del fraccionamiento del magma que da lugar a clinopiroxenitas e ijolitas (como indican tanto las relaciones de campo como la evolución en la composición del clinopiroxeno) y por otra parte, este fraccionamiento lleva asociada la generación de acumulados formados por minerales que retienen elementos incompatibles ya desde los primeros estadios de la cristalización (p.e. acumulación de perovskita + apatito que retienen tierras raras en clinopiroxenitas; de Ignacio *et al.*, 2002b), provocando el progresivo empobrecimiento y carácter residual de los diferenciados. En este caso, la completa ausencia de apatito y esfena en la muestra pegmatoide de la figura 3b explica su fuerte empobrecimiento en tierras raras ligeras y se refleja también en la anomalía positiva de Eu que presenta. Este proceso de fraccionamiento + acumulación explicaría también el carácter anhidro de estas sienitas, ya que el anfíbol se acumula constituyendo un mineral principal en las clinopiroxenitas, mientras que la mica es acumulada en éstas y en las ijolitas.

Por último, la estrecha variación isotópica entre clinopiroxenitas-ijolitas y sienitas nefelínicas, tanto en Sr, como en Nd y Pb (de Ignacio *et al.*, 2003), apoya también su origen por fraccionamiento + acumulación.

CONCLUSIONES

A partir de todos los datos presentados, se concluye que las sienitas nefelínicas de Montaña Blanca-Esquinzo, cristalizaron a partir de magmas fraccionados de las clinopiroxenitas e ijolitas, y empobrecidos en elementos incompatibles y volátiles por la acumulación en aquéllas de accesorios que retienen los primeros y de ferromagnesianos hidratados.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha financiado con el proyecto BTE2003-0872 (DGICYT). Agradecemos al Servicio de Microsonda Electrónica del Centro Luis Bru y al CAI de Geocronología, ambos de la Univ. Complutense de Madrid, donde se realizaron los análisis de química mineral e isotopía respectivamente.

REFERENCIAS

- Barrera, J.L., Fernández-Santín, S., Fúster, J.M. e Ibarrola, E. (1981): Ijolitas-sienitas-carbonatitas de los macizos del norte del Complejo Plutónico Basal de Fuerteventura (Islas Canarias). *Boletín Geológico y Minero*, 92: 309-321.
- Eby, G.N., Woolley, A.R., Din, V. y Platt, G. (1998): Geochemistry and petrogenesis of nepheline syenites: Kasungu-Chipala, Ilomba, and Ulindi nepheline syenite intrusions, North Nyasa alkaline Province, Malawi. *Journal of Petrology*, 39: 1405-1424.
- de Ignacio, C., Muñoz, M., Sagredo, J. y Barbero, L. (2002a): Preliminary apatite-fission tracks results on the geochronology of the Montaña Blanca-Milocho, mafic-ultramafic, alkaline pluton, NW Fuerteventura, Canary Islands. *Geotemas*, 4: 55-59.
- de Ignacio, C., Muñoz, M. y Sagredo, J. (2002b): Las rocas ultramáficas de la asociación alcalino-carbonatítica del plutón de Montaña Blanca-Milocho, NW Fuerteventura, Islas Canarias. Caracterización e implicaciones genéticas. *Geogaceta*, 32: 59-62.
- de Ignacio, C., Muñoz, M., Sagredo, J., Fernández-Santín, S. y Johansson, Å. (2003): Isotope geochemistry of the alkaline-carbonatitic association of Fuerteventura, Canary Islands, Spain. En: *IV EuroCarb Workshop (Canary Islands, Spain)*, Abstracts, 50-51.
- Jones, A.P. (1984): Mafic silicates from the nepheline-syenites of the Motzfeldt centre, South Greenland. *Mineralogical Magazine*, 48: 1-12.
- Mitchell, R.H. (1978): Manganoan magnesian ilmenite and titanian clinohumite from the Jacupiranga carbonatite, Sao Paulo, Brazil. *American Mineralogist*, 63: 544-547.
- Muñoz, M., de Ignacio, C. y Sagredo, J. (2003): *Fieldtrip guide, Fuerteventura*. IV EuroCarb Workshop, Canary Islands, Spain, 83p.
- Sun, S.S. y McDonough, W.F. (1989): Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes. En: *Magmatism in the Ocean Basins* (A.D. Saunders y M.J. Norry, Eds.). Geological Society of London Special Publication, 42, 313-345.